

供电企业职业技能培训教材

# 电气设备试验

陕西省电力公司 组编



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

供电企业职业技能培训教材

# 电气设备试验

---

陕西省电力公司 组编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是《供电企业职业技能培训教材》系列丛书之一,本书主要内容包括变压器、断路器、互感器、电力电容器、避雷器、电力电缆以及电容电流测量、红外线成像测量等试验项目、周期、标准等。全书较全面地介绍了电气设备预防性试验的相关知识,其内容紧密联系实际,突出技能、安全和质量,理论阐述简洁,操作性强。

本书适合于现场各个层次的技术工人、技师、高级技师使用,是在职职工的培训教材以及广大电力客户电气人员的学习资料,也可作为大专毕业生和专业技术管理人员的参考读本。

### 图书在版编目(CIP)数据

电气设备试验/陕西省电力公司组编. - 北京:中国电力出版社, 2003

供电企业职业技能培训教材

ISBN 7-5083-1629-0

I. 电… II. 陕… III. 电气设备-试验-技术培训-教材 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 053013 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2003 年 12 月第一版 2003 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 7.25 印张 156 千字

印数 0001—3000 册 定价 12.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

## 丛书编委会

编委会主任委员 万明善

副 主 任 喻志民 李新建 王乃永 薛 汧  
连耀学委 员 朱华荣 温存立 于占统 盛 勇  
任西勇 钟筱军 赵 晨 冯南战  
张维佳 古 涛 温治平 李爱群  
吴成林 袁 斌 张天山 苏 原  
郭连成 侯宏伟 宋元峰 石胜利  
李 鸣 吴程珂 徐宪武 王兴明  
刘化弟 王 云

QBA07/08

**本 册 主 编：**于占统

**本 册 副 主 编：**魏朝钰 王心田

**本册编写人员：**王 华 谭礼洪

**本册审定人员：**冯南战 马 延 马江鸿

# 序 言

根据《劳动法》第八章第六十八条“从事技术工种的劳动者，上岗前必须经过培训”的规定。为了提高劳动者素质，促进劳动者就业，加强职业培训，严格就业管理，2000年3月16日劳动与社会保障部发布了部长签发的关于《招用技术工种从业人员规定》的6号令，决定从2000年7月1日起对技术工种从业人员实行就业准入制度。陕西省电力公司迅速下发了《陕西省电力公司关于推行职业资格证书制度的若干规定（试行）的通知》，明确提出实行就业准入制度，全面推行持证上岗，强化技能培训。为此陕西省电力公司科教部结合供电企业安全生产实际，职工技能现状，继中国电力出版社已出版的《职业技能鉴定指导书》（即国家题库）和《供电企业职业技能操作导则》之后，组织西安高压供电局、西安供电局、渭南供电局等有关人员编写了《变电运行》、《变压器检修》、《电气设备试验》、《高压断路器检修》、《变电设备安装》、《继电保护、自动化与通讯》、《架空送电线路施工》、《电力电缆安装、运行与检修》、《架空配电线路》、《用电检查》、《报装接电》、《电能表修校》等十二本书，作为供电企业职业技能培训教材。

本丛书是我们组织有关工程技术人员，有丰富实践经验技师、高级技师编写的，其内容紧密联系现场实际；突出技能、安全、质量；一个工种一本书，试图将每个工种分成若干个小单元以构成一个总体单元，带有模块性质；理论阐述

简洁，操作性强；适合于现场每个层次的技术工人、技师、高级技师使用，可作为职业学校的培训教材，也可作为大专毕业生、专业技术管理人员的参考读本；既可作为在职职工的培训教材，也可作为新就业人员取得从业资格证书的培训教材，还可作为广大电力客户电气人员的学习资料。

由于时间短，教材涉及面广，编者水平有限，谬误之处在所难免，期望同行各位专家、技术人员和现场工作人员斧正。

**万明善**

2002 年 11 月

# 前言

企业以人为本。只有培养一支一流的职工队伍,企业才能在市场大潮中不断发展、壮大。受陕西省电力公司委托,西安高压供电局培训中心组织具有丰富理论知识和实践经验的工程技术人员、专职培训教师和生产管理干部编写了这套培训教材,以满足一线工人职业技能培训的需要。

作为对工人的培训教材,这本书紧密结合供电企业生产实际,以生产过程为主线,突出生产技能的传授。全书既能做到浅显易懂,又不遗漏应该掌握的知识点;它既是理论知识的传授,又是实际经验的总结。

我相信,这套教材能够对从事电力系统施工、安装、运行、检修等工作的工人提供有益的帮助,为电力企业的安全生产提供技术支持,为电力系统的经济效益提供人力资源保障,为电力事业的快速发展做出应有的贡献。

李新建

2002年11月28日

## 目 录

序言

前言

**第一章 电气设备预防性试验基本知识** ..... 1

第一节 直流电路 ..... 1

第二节 交流电路 ..... 9

第三节 电力设备预防性试验 ..... 21

复习题 ..... 25

**第二章 绝缘电阻的测量** ..... 27

第一节 绝缘电阻的测量原理 ..... 27

第二节 测量绝缘电阻使用的仪器 ..... 35

第三节 绝缘电阻的测量方法及注意事项 ..... 39

复习题 ..... 42

**第三章 泄漏电流的测量** ..... 44

第一节 泄漏电流测量原理 ..... 45

第二节 影响测量泄漏电流的因素 ..... 51

第三节 泄漏电流测量注意事项及测量结果

的分析与判断 ..... 54

复习题 ..... 57

#### 第四章 介质损失角正切值的测量 ..... 58

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一节 介质损耗 .....            | 58 |
| 第二节 测量介质损失角正切值及使用仪器 ..... | 62 |
| 第三节 测量结果的分析与判断 .....      | 76 |
| 复习题 .....                 | 79 |

#### 第五章 交流、直流耐压试验 ..... 81

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第一节 交流耐压试验的目的和意义 .....         | 81 |
| 第二节 交流耐压试验设备及试验接线 .....        | 82 |
| 第三节 交流耐压的测量 .....              | 89 |
| 第四节 试验注意事项 .....               | 91 |
| 第五节 交流耐压试验中异常现象及<br>初步分析 ..... | 93 |
| 第六节 交流耐压试验结果的分析判断 .....        | 94 |
| 第七节 直流耐压试验 .....               | 96 |
| 复习题 .....                      | 97 |

#### 第六章 电力变压器预防性试验 ..... 98

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 第一节 测量变压器绕组的绝缘电阻和吸收<br>比或极化指数 ..... | 99  |
| 第二节 测量变压器绕组连同套管的泄漏<br>电流 .....      | 104 |
| 第三节 测量变压器绕组连同套管介质损失<br>角正切值 .....   | 108 |
| 第四节 变压器电容型单套管的测量 .....              | 112 |
| 第五节 变压器绕组直流电阻的测量 .....              | 115 |

|            |                                                      |     |
|------------|------------------------------------------------------|-----|
| 第六节        | 变压器铁芯 (有外引接地引线) 绝缘电阻测量和全绝缘变压器 (35kV 及以下) 的交流耐压 ..... | 118 |
| 第七节        | 电力变压器油中溶解气体色谱分析及绝缘油试验 .....                          | 125 |
| 复习题        | .....                                                | 129 |
| <b>第七章</b> | <b>变压器大修及大修后试验</b> .....                             | 130 |
| 第一节        | 大修中变压器吊芯 .....                                       | 130 |
| 第二节        | 变压器大修后变比及接线组别的测量 .....                               | 131 |
| 第三节        | 变压器空载试验 .....                                        | 138 |
| 第四节        | 局部放电的测量 .....                                        | 148 |
| 复习题        | .....                                                | 149 |
| <b>第八章</b> | <b>断路器试验</b> .....                                   | 151 |
| 第一节        | 多油断路器试验 .....                                        | 152 |
| 第二节        | 少油断路器试验 .....                                        | 156 |
| 第三节        | SF <sub>6</sub> 型断路器预防性试验 .....                      | 161 |
| 第四节        | 真空断路器试验 .....                                        | 162 |
| 复习题        | .....                                                | 164 |
| <b>第九章</b> | <b>互感器试验</b> .....                                   | 165 |
| 第一节        | 电流互感器试验 .....                                        | 165 |
| 第二节        | 电磁式电压互感器试验 .....                                     | 168 |
| 第三节        | 电容式电压互感器试验 .....                                     | 175 |
| 复习题        | .....                                                | 176 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第十章 电力电容器试验</b> .....    | 178 |
| 第一节 耦合电容器试验 .....           | 178 |
| 第二节 集合式电容器试验 .....          | 181 |
| 第三节 并联电容器试验 .....           | 183 |
| 复习题 .....                   | 184 |
| <b>第十一章 避雷器试验</b> .....     | 185 |
| 第一节 阀型避雷器试验 .....           | 186 |
| 第二节 氧化锌避雷器试验 .....          | 189 |
| 第三节 避雷器带电试验 .....           | 190 |
| 复习题 .....                   | 192 |
| <b>第十二章 接地装置</b> .....      | 194 |
| 复习题 .....                   | 199 |
| <b>第十三章 绝缘工具及母线试验</b> ..... | 200 |
| 复习题 .....                   | 203 |
| <b>第十四章 电力电缆试验</b> .....    | 204 |
| 复习题 .....                   | 208 |
| <b>第十五章 电容电流的测量</b> .....   | 209 |
| 复习题 .....                   | 215 |
| <b>第十六章 红外线成像测量</b> .....   | 217 |
| 复习题 .....                   | 219 |

## 第一章

## 电气设备预防性试验基本知识

本章是将电工基础知识温故知新,对后面的电气设备试验起承前起后的作用。同时对电力设备进行预防性试验的目的、意义,分类及常用的符号、定义、单位等基本知识进行了阐述。通过本章的学习应了解掌握下列问题:

(1) 电路的组成:电压、电流、电阻的定义、单位。

(2) 直流电路的欧姆定律及电功率计算公式;直流电路中串、并联电路的特点;串联分压、并联分流的意义及应用;基尔霍夫第一、二定律和电磁感应现象原理。

(3) 理解正弦交流电的特征;掌握正弦交流电的三要素;电阻、电感、电容在交流电中的作用;电压、电流、功率、功率因数的关系及计算;三相交流电的特征、连接方式及各种连接方式中线、相电压、电流的关系及功率计算。

(4) 了解电气设备试验的意义、目的、分类及常用的符号、单位、定义。

### 第一节 直 流 电 路

#### 一、基本概念

(1) 电路。由电源、开关、负载、连接导线等元件组成的闭合回路称为电路。当开关闭合时,电路中有电流通过,称为闭路或通路;当开关断开时,电路中没有电流通过,此时也称为断路或开路。当电源两端被导体直接相连时,电源

输出的电流不经过负载只经导体直接回到电源，这种状态称为短路。短路时电流很大，会损坏电源及导线，甚至造成火灾，故而应避免电路短路。

(2) 电流。导体中的自由电子在电场力的作用下有规则地定向运动，形成了电流。电流用符号  $I$  来表示。在国际单位制中，电流的单位为安[培] (A)，常用的电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 ( $\mu$ A) 等。

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

(3) 电压。电场中两点之间的电位差，称为电压。电压用符号  $U$  来表示。在国际单位制中，电压的单位为伏特 (V)，常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu$ V) 等。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV}$$

$$1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

(4) 电阻。在电场力的作用下，电流在导体中流动时所受到的阻力称为电阻。电阻用符号  $R$  来表示。在国际单位制中，电阻的单位为欧姆 ( $\Omega$ )，常用的电阻单位还有兆欧 ( $\text{M}\Omega$ )、千欧 ( $\text{k}\Omega$ )、毫欧 ( $\text{m}\Omega$ )、微欧 ( $\mu\Omega$ ) 等。

1 兆欧 ( $\text{M}\Omega$ ) =  $10^3$  千欧 ( $\text{k}\Omega$ ); 1 千欧 ( $\text{k}\Omega$ ) =  $10^3$  欧 ( $\Omega$ ); 1 欧 ( $\Omega$ ) =  $10^3$  毫欧 ( $\text{m}\Omega$ ) =  $10^6$  微欧 ( $\mu\Omega$ )

(5) 欧姆定律。欧姆定律反映电压、电流、电阻三者之间的关系，即通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，与电阻成反比。用公式表示为

$$I = U/R$$

$$U = IR$$

$$R = U/I$$

(6) 电功率。电流在单位时间内所做的功叫电功率，用符号  $P$  来表示。电功率单位为瓦特 (W)，常用的电功率单位还有兆瓦 (MW)、千瓦 (kW) 等。

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$$

$$P = UI = I^2 R = U^2/R$$

(7) 串联电路。由两个以上的负载 (电阻)，首尾依次连接在电路中，称为串联电路，如图 1-1 所示。串联电路有以下特点：

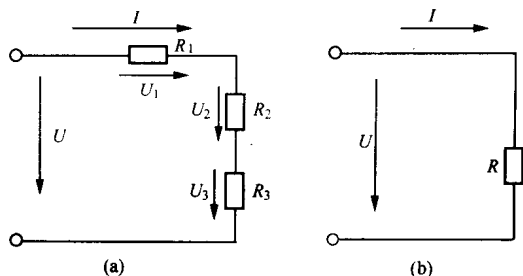


图 1-1 电阻串联电路

(a) 电阻串联；(b) 等值电阻

- 1) 串联电路中通过各负载的电流都相等，即

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = U_1/R_1 = U_2/R_2 = U_3/R_3$$

- 2) 串联电路中电路的端电压等于各负载上的电压之和，

即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

- 3) 串联电路中总电阻等于各电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = U_1/I + U_2/I + U_3/I$$

- 4) 串联电路中总功率等于各串联负载的总功率，即

$$P = IU = I(U_1 + U_2 + U_3) = I^2(R_1 + R_2 + R_3)$$

直流电路中，串联电路中总电压大于各负载上的电压；总电阻大于各负载电阻；总功率大于各负载上的功率。串联电路中每个负载电阻两端的电压与总电压的比值 ( $U_1/U$ )，等于这个负载电阻与总电阻的比值 [ $R_1/(R_1 + R_2 + R_3)$ ]，这个比值叫分压比 (即  $U_1/U = R_1/R$ )。

(8) 并联电路。有两个以上的负载，首端与首端相连，末端与末端相连的连接方式称为并联电路，如图 1-2 所示。并联电路有以下特点：

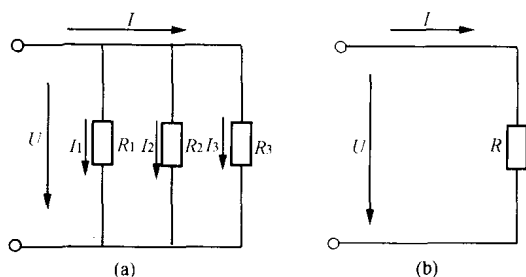


图 1-2 电阻并联电路  
(a) 电阻并联；(b) 等值电阻

1) 并联电路中，各电阻在电路中承受的电压相同，即

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$$

2) 并联电路中，总电流等于通过各个电阻的电流之和，

即

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 + I_3 = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3 \\ &= U/(R_1 + R_2 + R_3) \end{aligned}$$

3) 并联电路中，总电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和，即

$$1/R \approx 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

4) 并联电路中总功率等于各个负载的功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = UI_1 + UI_2 + UI_3$$

并联电路中, 总电流比任何一个负载上流过的电流都大; 总电阻比电路中的任何一个负载电阻都小; 总功率比任何一个负载上的功率都大。并联电路中通过各支路的电流与各自的电阻成反比。当两个电阻并联时, 各支路电流与总电流的比值 ( $I_1/I$ 、 $I_2/I$ ) 等于相应支路电阻与总电阻的反比 ( $I_1/I = R/R_1$ 、 $I_2/I = R/R_2$ ), 这个比值叫分流比, 即

$$I_1 = (R/R_1)I = [R_2/(R_1 + R_2)]I$$

$$I_2 = (R/R_2)I = [R_1/(R_1 + R_2)]I$$

(9) 基尔霍夫第一定律。基尔霍夫第一定律的内容是: 电路中任一节点流进节点的电流之和 ( $\sum I_r$ ) 等于流出节点的电流之和 ( $\sum I_c$ ) 即  $\sum I_r = \sum I_c$ 。具有节点的直流电路如图 1-3 所示, 图 1-3 中, 流入 a 点的电流为  $I_1 + I_2$ , 流出 a 点的电流为  $I_3$ ,  $I_1 + I_2 = I_3$ ; 流入 b 点的电流为  $I_3$ , 流出 b 点的电流为  $I_1 + I_2$ ,  $I_3 = I_1 + I_2$ 。

(10) 基尔霍夫第二定律。电路中任何一个闭合回路内,

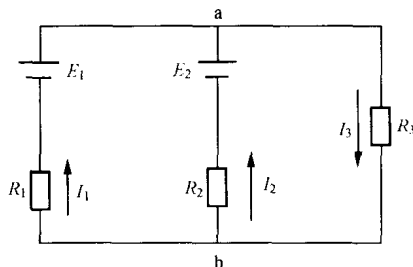


图 1-3 具有节点的直流电路